

Topische Unterschiede in der enzymhistologisch-faserspezifischen Zusammensetzung der Skelettmuskulatur

Histometrische Untersuchung an 5 Skelettmuskeln
(Mm.triceps brachii, biceps brachii, rectus femoris,
biceps femoris und erector spinae) von muskelgesunden
Verstorbenen

von

Clement Amadu Sulemana

aus

Bunsunu/Ghana

1971



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548824_0014

Aus der Neurologischen Klinik des Stadtkrankenhauses Kassel
(Leitender Arzt: Priv.-Doz. Dr. R. Suchenwirth)

Topische Unterschiede in der enzymhistologisch-faserspezifischen Zusammensetzung der Skelettmuskulatur

Histometrische Untersuchung an 5 Skelettmuskeln
(Mm. triceps brachii, biceps brachii, rectus femoris,
biceps femoris und erector spinae) von muskelgesunden
Verstorbenen

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

vorgelegt

von

Clement Amadu Sulemana

aus

Bunsunu/Ghana

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen Fakultät
der Universität Erlangen-Nürnberg



Dekan: Prof. Dr. G. Koch
Referent: Priv.-Doz. Dr. R. Suchenwirth
Korreferent: Prof. Dr. H.H. Wieck
Tag der mündlichen Prüfung: 28.12.1971

Herrn Priv.Doiz.Dr.R.Suchenwirth, Chefarzt
der Neurologischen Klinik des Stadtkran-
kenhauses-Kassel, danke ich herzlich für
die Stellung des Themas, wertvolle Anre-
gungen und unermüdliche Unterstützung in
dem neu aufgebauten Laboratorium.

Herrn Prof.W.Wepler, Leiter des Patholo-
gischen Institutes im Stadtkrankenhaus
Kassel danke ich für die Erlaubnis zur
Entnahme des Materials.

Fräulein Brigitte Czarnotta (MTA) und Herrn
Dr.med.H.D.Bundscha - Medizinische Klinik
und Hirnforschungsinstitut der Universität
Tübingen - danke ich für die Unterweisung
in der enzymhistologischen Färbung und der
Kryotechnik.

Fräulein Marie-Paule Schleicher danke ich
für wertvolle technische Hilfe.

I N H A L T

EINLEITUNG und FRAGESTELLUNG.....	1
UNTERSUCHUNGSMATERIAL.....	6
METHODIK.....	8
ERGEBNISSE.....	10
DISKUSSION.....	13
ZUSAMMENFASSUNG.....	18
TABELLEN.....	20
ABBILDUNGEN.....	28
LITERATUR.....	30

Einleitung

Im Jahre 1678 beobachtete der Italiener Stefano Lorenzini deutliche Farbunterschiede in der Skelettmuskulatur des Hasen. Er sprach aufgrund seiner Beobachtungen von roter und weißer Muskulatur.

1856 entdeckte KÖLLIKER an Querschnitten von Froschmuskeln bei 350-facher Vergrößerung nach Behandlung von verdünnter Essigsäure "zwischen den Fibrillen in größeren oder geringeren Abständen eine besonders geformte Zwischensubstanz in Gestalt von reihenweise gestellten blassen Körnchen,"die sich "immer als bald reichere,bald ärmere Punktierung" zeigten. Es handelt sich hier wahrscheinlich um die erstmalige Beschreibung von mitochondrienreichen und mitochondrienarmen Muskelfasern.

Das heutige Wissen über die enzymhistologische Differenzierung der Skelettmuskulatur geht größtenteils zurück auf Pionierarbeiten von RANVIER (1873,1874), der nicht nur rote und weiße Muskelfasern beim Kaninchen beschrieb, sondern auch durch elektrische Reizung ihre physiologischen Eigenschaften nachwies: die roten Muskeln kontrahieren langsam und anhaltend, während helle oder weiße Muskeln rascher kontrahieren. In vielen Folgearbeiten anderer Physiologen sind weitere deskriptive Bezeichnungen für die Fasertypen angewandt worden,z.B. helle und dunkle Felder GRÜTZNER (1884),protoplasmaarme und protoplasmareiche Fasern KNOLL (1891). SCHAFFER (1893) beschrieb bei Muskeln

des Menschen dunkle Fasern mit feinerer Fibrillenfelderung und helle Fasern mit gröberer Säulchenfelderung. 1929 sprach KRÜGER von Felderstruktur heller- und Fibrillenstruktur dunkler Fasern. Diese Einteilung wurde später von RUSKA (1958) SCHMALBRUCH (1970) u.a. elektronenmikroskopisch bestätigt. Im gleichen Jahr erwähnte DENNY-BROWN (1929) "granular sarcoplasmic fibres"(dunkel) und "agranular clear fibres"(hell). Mit einer Sudan III-Färbung gelang es BULLARD (1919) fetthaltige dunkle Fasern, fettarme helle Fasern und einen Zwischentyp zu unterscheiden. Durch enzymhistologische Färbungen (WACHSTEIN und MEISEL, (1955) STEIN und PADYKULA, (1962) HENNEMAN und OLSON, (1965) wurde u.a. bestätigt, daß die roten Fasern mitochondrienreich und die weißen Fasern mitochondrienarm sind. Der Mitochondriengehalt variiert jedoch nach Tierart und Tiergröße. (GAUTHIER und PADYKULA, 1966) So sind die entsprechenden Fasertypen bei Ratte und Maus beispielsweise mitochondrienreicher als beim Menschen.

1962 klassifizierte ENGEL die Fasern nach ihrer ATP-ase Aktivität (PADYKULA und HERMANN, (1955) als Typ I bei schwächerer oder negativer Aktivität und Typ II bei starker Reaktion. ROMANUL (1964) kam, unter Darstellung verschiedener Enzyme des Zitronensäurezyklus im Muskel zu einem Spektrum von 8 Fasertypen. Für praktische Zwecke wurde aber die Klassifikation nach Typ I ("rot") und Typ II ("weiß") mit Zwischentyp beibehalten (BROOKE und ENGEL 1969). Allgemein gilt in- zwischen Folgendes:

Die Fasern vom Typ I ("rote" Fasern) sind mitochondrienreich und capillarreich, haben einen vorwiegend aeroben Stoffwechsel und eine relative Unabhängigkeit von neuraler Kontrolle (BAJUSZ,1964). Die Funktion ist langsam, aber anhaltend (tonische Funktion).

Die Fasern vom Typ II ("weiße" Fasern) sind mitochondrienarm, capillararm und glykogenreich. Der Stoffwechsel ist vorwiegend anaerob. Die Funktion ist schnell und kurz (phasische Kontraktion).

Aus Experimenten mit Nervendurchtrennung und gekreuzter Reinnervation ist gesichert (ROMANUL und Mitarb.,(1967) EDSTRÖM und KUGELBERG,(1968) KARPATI und ENGEL,(1968) SCHMALBRUCH,(1970) daß die enzymhistologische Typisierung der Fasern den jeweilig versorgenden motorischen Fasern untergeordnet ist.

Die Zusammenhänge zwischen Enzymologie, Morphologie und Physiologie der Muskelfasern veranlaßten ENGEL 1962 die Bedeutung der Enzymhistologie als verbindendes Glied für die Pathomorphologie der Myopathien wie auch der neuromuskulären Erkrankungen hervorzuheben. Diese Erkrankungen gehen offenbar mit einer Veränderung der Faserdurchmesser durch Atrophie oder Hypertrophie und Störung der normalen Mischungsverhältnisse der Fasern zueinander einher.

Frühere Autoren, HALBAN (1894), SCHWALBE und MAYEDA (1890), BROOKE und ENGEL (1969), TOMLINSON, WALTON et al. (1969),

hatten schon versucht, die normal anatomischen Ausgangsbedingungen zu ermitteln, um Rückschlüsse auf pathologische Zustände ziehen zu können. Es galt Vergleichsmöglichkeiten zu schaffen.

Wesentliche Aufschlüsse ließ dabei eine quantitative Erfassung der faserspezifischen Zusammensetzung der Skelettmuskeln erwarten. Die meisten Autoren ermittelten die Zusammensetzung der gesunden und kranken Muskulatur aus Querschnittsbildern und für die Faserquerschnittsflächen wurde der Faserdurchmesser zum wichtigsten Parameter - FENICHEL (1963), ENGEL et al. (1966), EDSTRÖM und TORLEGARD (1969) u.a.. In einer Vorstudie von SUCHENWIRTH und BUNDSCHU (1970) wurde abweichend von den angeführten Autoren, die Querschnittsflächen ähnlich wie von SISSONS (1963, 1965) durch Projektion des mikroskopischen Bildes auf Millimeterpapier, Auszeichnung der Faserquerschnitte mit spitzem Bleistift und Auszählung der für die Einzelfaser in Anspruch genommenen Quadrate bestimmt. Benutzt wurde der Zeichenapparat mit Bildeinspiegelung von Carl Zeiss, Oberkochen.

In der Literatur liegen inzwischen verschiedene Angaben über die Zusammensetzung erkrankter Muskeln vor. Spärlicher sind dagegen die Angaben über die enzymhistologisch differenzierte Zusammensetzung gesunder Muskeln. Erwähnt seien die Studien von BROOKE und ENGEL (1969), EDSTRÖM und NYSTRÖM, (1969), RENIERS, MARTIN und JORIS (1970), SUCHENWIRTH und

BUNDSCHU (1970), JENNEKENS, TOMLINSON und WALTON (1971), Die meisten dieser Untersuchungen bearbeiteten nur bi-optisch entnommenes Material, wobei immer nur ein Muskel beim jeweiligen Probanden untersucht werden konnte. Die Zahl der mitgeteilten Untersuchungsergebnisse ist auch wegen des hohen methodischen Aufwandes gering. Ein Vergleich hinsichtlich der Zusammensetzung der einzelnen Muskeln miteinander ist nur ganz begrenzt möglich, weil Lebensalter, Geschlecht, Ernährung und Körpergewicht sowie weitere biologische Daten bei den einzelnen Probanden stark voneinander abweichen und recht unterschiedliche Auswertungsmethoden angewandt wurden.

Untersuchungen an Leichenmaterial sind schon früher bekannt (KÖLLIKER, 1856, HALBAN, 1894). Moderne enzymhistologische Untersuchungen an Leichenmaterial wurden zunächst gemieden, weil mit einer schnellen Veränderung der Enzymaktivitäten zu rechnen war. SUSHEELA und WALTON (1969) konnten jedoch an Leichenmaterial bis zu 48 Stunden nach dem Tode eine gute Differenzierung in die Fasertypen I und II mittels der SUCCINODEHYDROGENASE- Reaktion nach GEORGE und TALESARA (1961) erreichen. Ähnliche Erfahrungen an Leichenmaterial ermutigten dazu, die quantitativen Untersuchungen an Muskeln Verstorbener durchzuführen, wodurch ^{statis}statische Vergleiche zwischen den einzelnen Muskeln desselben Probanden möglich sind.

Zur Frage stand, wie stark der Aufbau der einzelnen Muskeln

beim gleichen Probanden (also intraindividuell) variiert, aber auch, wie weit bestimmte Muskeln bei den verschiedenen Probanden (interindividuell) variieren. Etwa aufgefundene Gesetzmäßigkeiten müssen dann im Hinblick auf die Funktion der einzelnen Muskeln bedacht werden. Die vielen Erfahrungen, die bei der Untersuchung der Skelettmuskeln von Wirbeltieren durch zahlreiche Autoren gewonnen wurden, ließen mit gesetzmäßigen Unterschieden hinsichtlich des Aufbaus der einzelnen Muskeln auch beim Menschen rechnen. So mußten an verschiedenen Körperstellen Muskeln ausgewählt werden, die nach jeweils vorherrschenden Funktionen einen ganz unterschiedlichen Aufbau erwarten ließen. An Strecker, Beuger, Muskeln mit vorwiegend kurzfristiger schneller (phasischer) und Muskeln mit vorwiegend langdauernder (tonischer) Funktion wurde besonders gedacht. Um gute Grundlagen für die statistische Bearbeitung zu bekommen, wurde die histometrische Methode mit Bildprojektion und Flächenauszeichnung bevorzugt. Der Muskelfaserdurchmesser als Maß für die Flächenbestimmung erscheint weniger geeignet, da die Faserquerschnitte eher unregelmäßig polygonal und nicht geometrisch rund sind.

Untersuchungsmaterial

Untersucht wurden die rechten Mm. triceps brachii, biceps brachii, rectus femoris, biceps femoris (caput longum) und erector spinae von 9 nicht muskel- oder nervenkranken,

nach kurzer Erkrankung verstorbenen Männern und
2 Frauen, Lebensalter 22-73 Jahre, Durchschnitts-
alter 57,9 Jahre, mittlere Abweichung 10 Jahre. .

Name	Geschlecht	Alter	Todesursache (klinisch und path. anatomisch)
A.G.	männlich	48	Hirnmassenblutung
S.O.	männlich	73	Lungenembolie und Hinterwandinfarkt
S.K.	männlich	55	ausgedehnter Vorderwand- infarkt, Kammerflattern
E.G.	männlich	72	Hirnblutung
F.A.	weiblich	63	Hinterwandinfarkt
L.F.	männlich	63	Myokardinfarkt, Asystolie
B.G.	männlich	45	Herzversagen bei akuter hämorrhagischer Pankrea- titis
K.W.	männlich	69	Rechtsversagen
G.R.	männlich	72	Hypertonische Massenblu- tung
G.K.	männlich	22	massive Pneumonie bei akuter Leukämie
B.G.	weiblich	56	Disseminierte Blutungen in das Gehirn und Stammgan- glien

Methodik

Die Entnahme der Muskelproben erfolgte am Ende der ersten Stunde, nach dem klinisch festgestellten Tod. Es wurde darauf geachtet, daß die Muskulatur immer an der gleichen Stelle entnommen und ungefähr die gleiche Schicht getroffen wurde. Die Muskulatur wurde bei dem Herauspräparieren an einem Holzstäbchen befestigt um stärkere Kontrakturen zu vermeiden, mit diesem in Kohlendioxid-Schnee eingefroren und in der Tiefkühltruhe bei -25°C aufbewahrt; so wurden Muskelblöcke von durchschnittlicher Größe $3 \times 2 \text{ cm}$ gewonnen. Die Verarbeitung in Pearse-Kryostat erfolgte bei -22°C in $12 - 15 \mu$ -Schnitten. Für die enzymhistologische Färbung wurde die Tetrazoliumreduktase-Reaktion (LDH) FAHIMI und AMARASINGHAM (1964), sowie die myosine ATPase-Reaktion PADYKULA und HERNLICH (1955) angewandt. Zusätzlich wurde jeweils ein Haematoxylin-Eosin-Präparat angefertigt, um pathologische Veränderungen auszuschließen. Danach erfolgte die Bestimmung der Querschnittsflächen von jeweils rund 200 Muskelfasern in Anlehnung an den "Report of a Subcommittee on Quantitation of Muscle Biopsy Findings", (1968) aus 2 - 3 ganz erhaltenen Muskelfaszikel unter ausschließlicher Berücksichtigung der Fasertypen I und II (nach BROOKE und ENGEL 1969). Nur wenige Fasern waren nicht eindeutig differenzierbar. Diese wurden nicht mitaus-

gewertet; ihre Zahl lag unter 2%. Bei der gewählten Vergrößerung von 1:100 und entsprechender Eichung entsprach ein Kleinstquadrat des Millimeterpapiers einer Fläche von $100 \mu^2$. Zur Flächenbestimmung wurden die Quadrate, die am Rande zu weniger als 50% ausgefüllt waren, fortgelassen; die zu mehr als 50% ausgefüllten wurden voll mitgezählt. Insgesamt wurden also 55 Muskelproben untersucht, dabei jeweils rund 200 Muskelfasern ausgemessen und hinsichtlich der Zugehörigkeit zu Typ I und Typ II getrennt registriert werden. Bei jedem Muskel wurde mit Hilfe des Combitron (Diehl, Nürnberg) sowohl beim Einzelindividuum, als auch bei allen 11 Untersuchten zusammen ein Querschnittsmittelwert der Muskelfasern ($\bar{x}$), die Streuung (s) und der Variabilitätskoeffizient (v) für jeden Fasertyp getrennt ermittelt. Das Zahlenverhältnis zwischen den Fasern vom Typ I und den Fasern vom Typ II wurde bei den einzelnen Muskeln sowie untereinander verglichen und hier der χ^2 -Test angewandt. Auch die Mittelwerte der Querschnittsflächen wurden unter Heranziehung des t-Testes von STUDENT zwischen den einzelnen Muskeln verglichen, nachdem eine erste Übersicht eine Binomialverteilung der Mittelwerte angezeigt hatte. Schließlich wurde aus der durchschnittlichen Zahl der Fasern vom Typ I und Typ II und dem Flächenmittelwert $\bar{x}$ vom Typ I und Typ II der 11 Fälle für jeden einzelnen Muskel einen semiquantitativen Wert, "Muskelmasse" ermittelt,

der gewissermaßen den typischen Aufbau jeder der untersuchten 5 Muskeln erkennen läßt. Ferner wurde der Quotient der relativen Häufigkeit von Fasern des Typ I/II und den Quotienten des Wertes $\bar{x}$ I/ $\bar{x}$ II bei den verschiedenen Muskeln ermittelt.

Ergebnisse

Hinsichtlich aller Einzelbefunde sei auf die Tabellen 1 - 5 verwiesen.

Es fällt auf, daß beim M.triceps brachii die Fasern von Typ II ($\bar{x} = 4026 \mu^2$) zumeist einen größeren Querschnittsflächenwert haben, als die Fasern vom Typ I ($\bar{x} = 3582 \mu^2$). Der Quotient der Flächenwerte I/II der 11 Fälle schwankte zwischen 0,65 und 1,47, Mittelwert 0,94. Die weißen Fasern sind hier fast durchwegs wesentlich häufiger: Der Quotient der Fasern vom Typ I / Typ II betrug durchschnittlich 0,65, prozentual im Durchschnitt 38/62.

Beim M.biceps brachii haben die Fasern vom Typ II ebenfalls im allgemeinen (Mittelwert aller 11 Muskelproben: $\bar{x} = 3934 \mu^2$) einen höheren Querschnittsflächenwert als die Fasern vom Typ I ($\bar{x} = 3458 \mu^2$). Der Quotient der Flächenwerte der 11 Fälle ($\bar{x}$ I/ $\bar{x}$ II) schwankte zwischen 0,58 und 1,21; der Mittelwert betrug 0,88, prozentual im Durchschnitt 45/55.

Auch hier sind die weißen Fasern fast immer häufiger. Der Quotient der roten Fasern (Typ I) zu weißen (Typ II)- Mittelwert für alle 11 Fälle 0,88- ist etwa höher als beim *M.triceps brachii*. Dieser Wert betrug bei ENGEL (1962) ca. 0,66. Im Vergleich zu 45% Typ I im *M.biceps brachii* fanden EDSTRÖM und NYSTRÖM (1969) bei 7 Biopsieuntersuchungen mittels ATP-ase 40 -50% Typ I während BROOKE und ENGEL (1964) bei 30 *M.biceps brachii* (ebenfalls Biopsiematerial) den Wert von 40% Typ I ermittelten.

Beim *M.rectus femoris* zeigt der mittlere Querschnittsflächenwert nur eine geringere Bevorzugung der Fasern vom Typ II (Typ I $\bar{x} = 3356 \mu^2$; Typ II $\bar{x} = 3755 \mu^2$). Der Quotient der Flächenwerte schwankt zwischen 0,70 und 1,49; der mittlere Quotient aus 11 Fällen beträgt 0,91. Das Verhältnis der Fasern vom Typ I zu den Fasern vom Typ II ergibt aus den 11 Fällen einen Quotienten von 1,08, also eine fast gleichmäßige Verteilung vom Typ I und Typ II; prozentual im Durchschnitt 49,9 Typ I.

Beim *M.biceps femoris* zeigen die Querschnittsflächenwerte eine deutliche Bevorzugung der Fasern vom Typ I ($\bar{x} = 3235 \mu^2$)gegenüber denen vom Typ II ($\bar{x} = 2645 \mu^2$). Typ I Fasern sind deutlich häufiger als Typ II. Der Quotient für die 11 Fälle Typ I/Typ II beträgt 1,42, prozentual im Durchschnitt 55/45.

Beim *M.erector spinae* ist der durchschnittliche Faserflächenwert vom Typ I wesentlich größer als der vom Typ II. (Typ I: $\bar{x} = 3701/\mu^2$, Typ II: $\bar{x} = 3388/\mu^2$). Der Quotient der Flächen I/II beträgt zwischen 0,43 bis 1,84, Mittelwert 1,17. Die Fasern vom Typ I sind wesentlich häufiger als die Fasern vom Typ II (Quotient I/II: 1,36): Prozentual, im Durchschnitt 62/38.

Diese Ergebnisse wurden unter Anwendung des χ^2 -Tests und des t-Tests (STUDENT) geprüft: Dabei ergab sich, daß die Unterschiede zwischen den einzelnen Muskeln hinsichtlich des Zahlenverhältnisses der Fasern Typ I/II mehrfach signifikant, gelegentlich sehr signifikant waren. (s.Tab. 6)

Die Nullhypothese (d.h. kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Muskeln hinsichtlich der zahlenmäßigen Zusammensetzungen aus Fasern vom Typ I und Typ II) war mehrfach eindeutig zu widerlegen. Hinsichtlich der Querschnittsflächenverhältnisse waren die Unterschiede zwischen den einzelnen Muskeln weniger deutlich. Dabei ergaben sich nur bei den Fasern vom Typ II einmal ein signifikanter und zweimal ein nahezu signifikanter (als deutliche Tendenz zu wertender) Unterschied. (s.Tab.7) Errechnet man aus der anteilmäßigen Zahl der Fasern und der Querschnittsfläche gewissermaßen die "Gesamtmasse" der einzelnen Muskeln, so werden wesentliche Unter-

schiede sichtbar. (s. Tab. 8)

Die " Gesamtmuskelmasse " der Fasern vom Typ II ist an den Armmuskeln wesentlich größer als an den Beinmuskeln und am Erector spinae. Der M. rectus femoris nimmt eine mittlere Stellung ein. Hier sind die Typ I und Typ II Fasern zahlenmäßig nahezu gleich verteilt. Durch die geringfügig größere Querschnittsfläche der (Typ II) weißen Fasern ist die weiße Muskelmasse etwas größer als die rote. Im wesentlich größerem Umfang finden sich Fasern vom Typ I im M. biceps femoris und Erector spinae.

Diskussion:

Vor der Besprechung der Einzelergebnisse und einem Vergleich mit den Ergebnissen bioptischer Untersuchungen muß man einräumen, daß hier Leichenmaterial untersucht wurde und der Tod mag in gewisser Weise das enzymhistologische Bild und Faserdurchmesser beeinflußt haben. Beispielsweise enthielten vor allem die Präparate des M. erector spinae auffallend viele Eiskristalle, was auf eine prä- und postmortale Flüssigkeitsansammlung in den abhängigen Körperteilen zurückzuführen ist. Hier war auch die färberische Differenzierbarkeit oft schlechter als bei den anderen Muskeln. Weiter fiel auf, daß der Variationskoeffizient v (bei Gesunden nie über 35 SUCHENWIRTH und BUNDSCHU (1970), im Necropsiematerial und wiederum vor allem beim M. erector spinae oft höher lag. Andererseits kann man WALTON und SUSHEELA nur beipflichten, daß auch die post-

mortal entnommene Muskulatur eine gute enzym-histologische Färbbarkeit besitzt. Die beiden Muskelfasertypen I und II bleiben offenbar postmortal noch längere Zeit hindurch mittels der üblichen Methoden gut differenzierbar. Die Muskelproben wurden dabei viel früher entnommen, als dies bei SUSHEELA und WALTON der Fall war. Muskelfasern, die weder sich dem Typ I noch dem Typ II zuzuordnen waren fanden sich nur selten und spielten deshalb für die Flächenbestimmung keine Rolle.

Zunächst überrascht, daß die einzelnen Muskeln bei den verschiedenen Individuen keinen ganz einheitlichen Aufbau zeigen. Sowohl hinsichtlich der Querschnittsflächenwerte, als auch der Zahl der Fasertypen liegt eine erhebliche inter- und intraindividuelle Varianz vor. Stellt man etwa an Hand der Gesamtergebnisse fest, daß der M. biceps brachii wesentlich mehr und größere Fasern vom Typ II hat, so finden sich auch einzelne Probanden bei denen das Gegenteil der Fall ist. Derartige Feststellungen mußten aber auch andere Autoren, die Muskulatur Gesunder untersuchten (BROOKE und ENGEL 1969, ENDSTRÖM und NYSTRÖM 1969), wie aus den vorgelegten Einzelwerten hervorgeht, machen. Bei anderen Autoren, die andere Muskel untersuchten (JENNEKENS und Mitarb. 1971, SUCHENWIRTH und BUNDSCHU 1970) ist das weniger deutlich erkennbar.

Diese bei einigen Muskeln recht große Streubreite der Zusammensetzung findet noch keine allgemeingültige Erklärung. HEYCK und LAUDAHN (1970) hatten schon festgestellt, daß "die unterschiedlichen und oft gegensätzlichen Befunde, die mit biochemischen oder enzymatisch-histochemischen Untersuchungsverfahren über das Mischungsverhältnis der Fasern in menschlicher Muskulatur erhalten werden, z.T. methodisch bedingt" sind. Für Entnahmetechnik und Entnahmeort herrschten gleiche Bedingungen. SUSHEELA und WALTON (1968) fanden beim M. biceps brachii und M. tibialis anterior des Menschen eine relativ gleichmäßige Verteilung der Fasern in tiefer (knochennaher) Schichten als auch oberflächlich. Hiernach können Unterschiede hinsichtlich des Entnahmeortes nicht wesentlich sein, allerdings müssen andere Muskeln in Bezug auf "Schichtunterschiede" untersucht werden. Es bleibt auch offen, ob die Unterschiede in der Häufigkeit der Fasern im gleichen Muskel verschiedener Herkunft auf individuellen Unterschieden beruhen, oder ob sie durch die Kleinheit der Präparate in Relation zum ganzen Muskel vorgetäuscht werden.

Für das unterschiedliche Lebensalter mag es ausschlaggebend sein, daß beim älteren Menschen einzelne Fasern in wechselndem Maße atrophieren (JENNEKENS,

TOMLINSON, WALTON (1971). Die Atrophie geht aber mit Abnahme der Enzymaktivität einher, folglich einer schwächeren Farbintensität beim Incubieren und damit möglicherweise eine falsche Faserklassifikation. Training kann insoweit wichtig sein, als HOLLOSZY (1967) feststellte, daß Ratten nach anstrengendem Tetrad-Training im M.gastrocnemius eine Verdoppelung der Aktivität der Enzyme des oxydativen Stoffwechsels zeigten. Über die Verhältnisse beim Menschen ist allerdings kaum etwas bekannt. Beim weiblichen Geschlecht sind die Muskelfasern, möglicherweise aus weniger Beanspruchung der Muskulatur, im Kaliber meistens schwächer. Die Anatomie der Muskelfaser selbst wirft einige Probleme auf. Die Muskelfaser ist kein durchgehender Zylinder, sondern eher spindelförmig gebildet. Das Querschnittsbild muß deshalb flächenmäßig verschieden ausfallen, je nach der Stelle, wo die Faser geschnitten wird. Klinisch nicht manifeste Veränderungen z.T. iatrogen bedingt (Medikamente), Ernährungszustand und unterschiedliche berufliche Beanspruchungen stehen weiter zur Diskussion. Auch war die Händigkeit bei den Verstorbenen meist nicht bekannt. Da immer der rechte Muskel gewählt wurde, mag es sich gelegentlich um einen Muskel der nicht-dominanten Körperhälfte gehandelt haben, falls primär Linkshändigkeit vorlag. Betrachtet man aber die Gesamtergebnisse, so läßt sich

teilweise signifikant, teilweise als deutliche Tendenz der Nachweis führen, daß (innerhalb dieser Untersuchung) die Muskeln der oberen Extremität, die insgesamt relativ mehr phasische Funktionen ausüben, überwiegend von Muskelfasern des Typ II, die Muskeln der unteren Extremität, die viel mehr Halteaufgaben haben, vorwiegend von Fasern des Typ I gebildet werden. Am deutlichsten ist der Unterschied zwischen dem *M. triceps brachii*, der beim Menschen nur verhältnismäßig selten und kurz in aktive Funktion tritt und dem *M. erector spinae*, der beim wachen Menschen nahezu dauernd in tonischer Funktion ist. (*homo erectus*)

In früheren Untersuchungen hatte DENNY-BROWN (1929) ältere, auf Tierversuche gegründete Auffassungen bestätigt, daß die stärker roten Muskeln, die also überwiegend von Typ I Fasern gebildet werden, eine langsamere aber auch anhaltendere Funktion haben, also weitgehend "tonisch" sind, während die weißen Muskeln, die vorwiegend aus Fasern vom Typ II bestehen, überwiegend phasische Aufgaben haben. Dieser systematisch-statistischer Vergleich zwischen einzelnen Muskeln läßt diese Verhältnisse auch für den Menschen annehmen. Diese Korrelation zwischen Fasermorphologie und Physiologie mußte jedoch eingeschränkt werden durch eine Untersuchung von HALL-CRAGGS (1968),

der beim Kaninchen feststellte, daß der M.vocalis histochemisch den langsamen Skelettmuskeln glich, da er einen hohen Gehalt an mitochondrialen Enzymen hatte, sich physiologisch jedoch wie ein schneller Muskel verhielt. Die Tatsache aber, daß man bisher keine langsamen Fasern (d.h. Typ I) mit glykolytischem (anaerobem) Stoffwechsel gefunden hat, spricht wiederum für die allgemeine Auffassung über die Faserfunktionen.

Sicherlich sind alle bisher bekannten Muskeln sowohl aus Fasern vom Typ I als auch Fasern vom Typ II aufgebaut; das enzymhistologisch nachweisbare Mischungsverhältnis in den einzelnen Muskeln ist aber weitgehend charakteristisch und offenbar der Funktion der einzelnen Muskeln angepasst. KRÜGER (1955 u.a.) betont, daß "die spezifischen Leistungen des Muskels an ein charakteristisches Substrat" gebunden seien. Diese Untersuchungsergebnisse bestätigen in gewisser Weise seine Feststellungen. Die Muskulatur auch des menschlichen Organismus ist hinsichtlich des Faserverhältnisses I/II offenbar funktionsspezifisch aufgebaut.

Zusammenfassung

Die topischen Unterschiede im Aufbau der verschiedenen Skelettmuskeln des Menschen wurden an Muskelproben

von 5 Muskeln (M. triceps brachii, biceps brachii, rectus femoris, biceps femoris und erector spinae) von 11 muskelgesund Verstorbenen untersucht. Mittels Darstellung der LDH-Tetrazoliumreduktase und ATP-ase, einer quantitativen Erfassung der Muskelfaserquerschnittsflächen und einer Auszählung der Fasern vom Typ I und Typ II ließen sich für die einzelnen Muskeln charakteristische Verhältnisse feststellen; die Armmuskeln bestanden vorwiegend aus Fasern vom Typ II ("weißen" Muskelfasern). Bei den Beinmuskeln zeigte der M. rectus femoris ein leichtes Überwiegen der "weißen Gesamtmasse"; der M. biceps femoris war überwiegend rot. Die größte "rote Muskelmasse" enthielt jedoch der Erector spinae. Diese Zusammensetzung der einzelnen Muskeln analog ihrer vorherrschenden Funktion bestätigt frühere Angaben über die Bedeutung der einzelnen Muskelfasertypen.

Nicht immer sind die Ergebnisse signifikant. Einzelfälle zeigen sogar ein deutlich abweichendes Verhalten; der Variationskoeffizient ist z.T. höher als bisher bei "normalen" Probanden an vitalem Gewebe festgestellt wurde. Diese Besonderheiten werden durch noch nicht völlig aufgeklärte variierende Bedingungen und vielleicht auf durch postmortale Veränderungen erklärt.

Tabelle 1: Zusammensetzung des M. triceps brachii und mittlerer Flächenwert von 200 Muskelfasern.
Bestimmt an LDH-Präparaten von 11 Muskelgesunden. ($\bar{x}$ = Querschnittsfläche in μ^2 , s = Streuung
in μ^2 , v = Variabilitätskoeffizient).

Name	Alter	Typ I		v	Typ II		v	Typ I / Typ II	Quotient
		$\bar{x}$	s		$\bar{x}$	s			
A.G.	48	1965	739	37,6	2427	773	31,8	32/68	0,47
S.O.	73	3806	1105	29,0	5410	1709	31,5	44,5/55,5	0,80
S.K.	55	5066	1130	22,3,	7702	1782	23,0	58/42	1,37
E.G.	72	3720	1538	41,3	3943	1500	38,0	22,5/77,5	0,29
F.A.	63	2972	1001	33,6	2938	778	26,5	29/71	0,40
L.F.	63	4147	930	22,1	5021	1581	31,5	39/61	0,61
B.G.	45	3889	1171	30,1	4217	1313	31,1	41/59	0,70
K.W.	69	2718	904	33,2	2125	514	25,4	35/65	0,53
G.R.	72	3552	1522	42,8	4451	1870	42,0	43/57	0,76
G.K.	22	2509	520	20,7	2660	675	25,3	27/73	0,36
B.G.	56	5016	1698	33,8	3401	958	28,1	47/53	0,89

Tab.2: Zusammensetzung des M. biceps brachii und mittlerer Flächenwert von 200 Muskelfasern.

Bestimmt an LDH-Präparaten von 11 Muskelgesunden. ($\bar{x}$ = Querschnittsfläche in μ^2 , s=Streuung in μ^2 , v = Variabilitätskoeffizient.

Name	Alter	$\bar{x}/\mu^2$	Typ I s	v	$\bar{x}/\mu^2$	Typ II s	v	Typ I/Typ II % der Häufigkeit	Quotient
A.G.	48	2740	723	26,4	2793	1076	38,5	36/64	0,56
S.O.	73	2354	795	33,7	2084	1020	48,9	68/32	2,1
S.K.	55	4701	994	21,0	6045	1577	26,0	46/54	0,83
E.G.	72	4004	1389	34,6	3308	1324	40,3	35/65	0,54
F.A.	63	3212	1155	35,9	4071	829	20,3	46/54	0,86
L.F.	63	4001	1133	28,3	4600	1512	32,8	36/64	0,56
B.G.	45	4515	1759	38,9	5504	2046	37,1	42/58	0,71
K.W.	69	2788	853	30,0	3408	1694	49,7	40/60	0,65
G.R.	72	3271	729	22,3	5630	1689	30,0	43/57	0,74
G.K.	22	2166	512	23,0	2619	676	25,8	46/54	0,85
B.G.	56	3668	1010	27,5	3841	1764	45,9	56/44	1,28

Tabelle 3: Zusammensetzung des M. rectus femoris und mittlerer Flächenwert von 200 Muskelfasern.
 Bestimmt an LDH-Präparaten von 11 Muskelgesunden. ($\bar{x}$ = Querschnittsfläche in μ^2 ,
 s = Streuung in μ^2 , v = Variabilitätskoeffizient.)

Name	Alter	$\bar{x}/\mu^2$	Typ I s	v	$\bar{x}/\mu^2$	Typ II s	v	Typ I/Typ II oder Häufigkeit	Quotient
A.G.	48	2708	784	28,9	2680	840	31,3	66/34	1,92
S.O.	73	4735	1394	29,4	3161	1420	44,9	51/49	1,02
S.K.	55	3975	1112	29,9	4554	1573	34,5	58/42	1,37
E.G.	72	2318	661	28,5	3269	1069	32,4	33/66	0,5
F.A.	63	2538	771	30,3	3434	911	26,5	43/57	0,75
L.F.	63	3108	929	29,9	3387	1435	42,3	43/57	0,75
B.G.	54	5007	2251	44,9	5751	2030	35,3	56/44	1,29
K.W.	69	2417	917	40,0	2377	726	30,5	48/52	0,93
G.R.	72	2764	808	29,2	4189	1437	34,3	64/36	1,74
G.K.	22	2933	643	21,9	3447	945	27,4	37/63	0,63
B.G.	56	4422	1830	41,4	5040	1977	39,2	50/50	1,0

Tabelle 4: Zusammensetzung des M.biceps femoris und mittlerer Flächenwert von 200 Muskelfasern.
 Bestimmt anLH-Präparaten von 11 Muskelgesunden. ($\bar{x}$ = Querschnittsfläche in μ^2 ,
 s = Streuung in μ^2 , v = Variabilitätskoeffizient.)

Name	Alter	$\bar{x}/\mu^2$	Typ I	s	v	$\bar{x}/\mu^2$	Typ II	s	v	Typ I/Typ II	Quotient
A.G.	48	3524	1361		38,6	1447	944		65,5	64/36	1,77
S.O.	73	4367	2022		46,3	2128	1810		51,7	47/53	0,89
S.K.	55	4169	1151		27,6	2204	794		36,9	50/50	1,0
E.G.	72	1264	473		37,4	1075	511		47,5	68/32	2,1
F.A.	63	2891	1371		47,4	4167	1335		32,0	34/66	0,49
L.F.	63	3558	775		21,8	4177	1016		24,3	66/34	1,91
B.G.	45	5097	1462		28,6	4203	1576		37,5	69/31	2,17
K.W.	69	2358	833		35,3	2323	672		28,9	37/63	0,5
G.R.	72	3114	1039		23,3	3471	1121		32,3	61/39	1,56
G.K.	22	1054	391		37,1	1210	454		37,5	46/54	0,84
B.G.	56	4193	1540		36,7	3794	933		24,5	62/38	1,65

Tabelle 5: Zusammensetzung des M. erector spinae und mittlerer Flächenwert von 200 Muskelfasern.
 Bestimmt an LDH-Präparaten von 11 Muskelgesunden. ($\bar{x}$ = Querschnittsfläche in μ^2 ,
 s = Streuung in μ^2 , v = Variabilitätskoeffizient.)

Name	Alter	$\bar{x}/\mu^2$	Typ I		v	$\bar{x}/\mu^2$	Typ II		v	% der Häufigkeit	Typ I/Typ II	Quotient
			s	s			s	s				
A.G.	48	5978	2939		35,0	3440	844		27,7	67/33		1,98
S.O.	73	6156	2701		43,8	3363	1560		46,3	62,5/37,5		1,66
S.K.	55	4761	1669		35,0	4342	1875		43,1	72/28		2,6
E.G.	72	2401	946		39,4	1626	837		51,5	75/25		3,05
F.A.	63	2200	949		43,1	3562	1149		32,2	70/30		2,36
L.F.	63	3326	1313		39,4	2340	768		32,8	56/44		1,29
B.G.	45	5199	2152		41,4	2818	1054		37,4	64/36		1,75
K.W.	69	2698	1083		40,1	2991	1934		64,6	55/45		1,22
G.R.	72	3719	1551		41,7	3624	1668		46,0	59/41		1,46
G.K.	22	1406	573		40,7	2622	803		30,6	52/48		1,08
B.G.	56	2874	868		30,2	6550	2111		32,2	50/50		1,0

	M.biceps brachii	M.rectus femoris	M.biceps femoris	M.erector spinae
M. triceps brachii	Ø 0,729	Ø 2,251	⁺ 4,869	⁺⁺ 11,40
M. biceps brachii		⁺ 7,03	⁺⁺ 10,15	⁺⁺ 21,53
M. rectus femoris			Ø 0,32	Ø 3,10
M. biceps femoris				Ø 0,86

Ø = kein signifikanter Unterschied

+ = significant (5%-Bereich)

++ = sehr significant (10%-Bereich)

Tabelle 6: Unterschiede in der Zusammensetzung der 5 untersuchten Muskeln hinsichtlich der Zahl der Muskelfasern vom Typ I und Typ II.

Ergebnis des χ^2 -Tests. Significant häufiger finden sich an den untersuchten Muskeln der oberen Extremität Muskelfasern vom Typ II.

	M.biceps brachii	M.rectus femoris	M.biceps femoris	M.erector spinae
M.triceps brachii	-	-	⁺ 2,0301	-
M.biceps brachii		-	⁺ 2,1420	-
M.rectus femoris			⁺ 2,0810	-
M.biceps femoris				-

Tabelle 7: Bestimmung der Unterschiede des mittleren Durchmessers der Einzelfasern vom Typ II zwischen den einzelnen Muskeln durch den t-Test. Ausschließlich der Querschnittswert ($\bar{x}$) beim M.biceps brachii weicht von dem des M.biceps femoris significant ab. Zwei weitere t-Werte nähern sich der Significanz im 5%-Bereich, können aber nur als deutliche Tendenz gelten(+). Alle übrigen Unterschiede sind nicht significant. Bei den Muskelfasern vom Typ I ließ sich keinerlei signifikanter Unterschied zwischen den Faserquerschnittswerten ($\bar{x}$) der untersuchten Muskeln nachweisen.

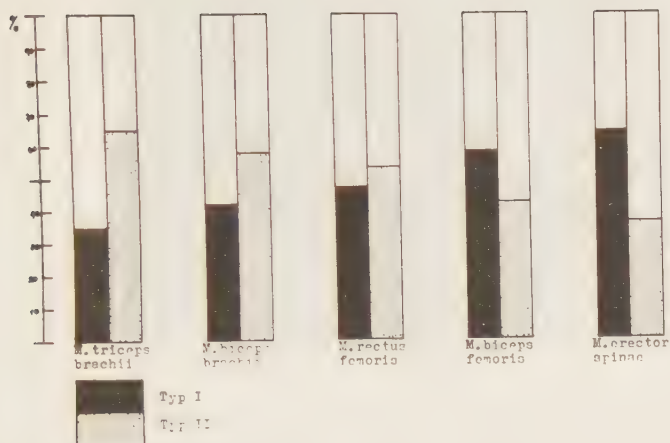


Tabelle 8: Aufbau der 5 untersuchten Muskeln hinsichtlich Muskelmasse vom Typ I und Typ II. Die Muskelmasse wird als Produkt der mittleren Querschnittsfläche ($\bar{x}$) und der durchschnittlichen Faserzahl der Fasern vom Typ I und II bei den 11 untersuchten Muskelgesunden verstanden. Der M. triceps brachii hat die geringste Muskelmasse vom Typ I, der M. erector spinae die größte. Die Mm. triceps brachii und biceps femoris verhalten sich hierin fast spiegelbildlich zueinander.

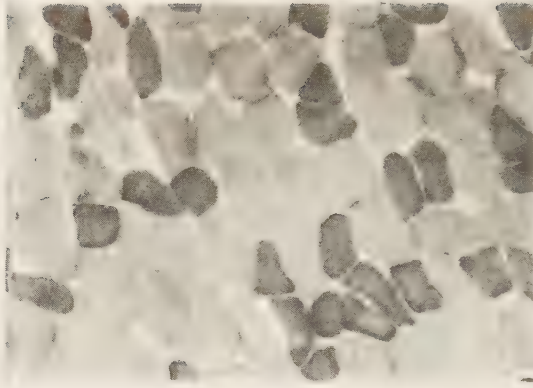


Abb.1: M.triceps brachii des Probanden S.K.,LDH-Färbung.
Die Muskelfasern vom Typ II sind deutlich größer und
zahlreicher als die vom Typ I.(TypI (dunkel), Typ II (hell)).

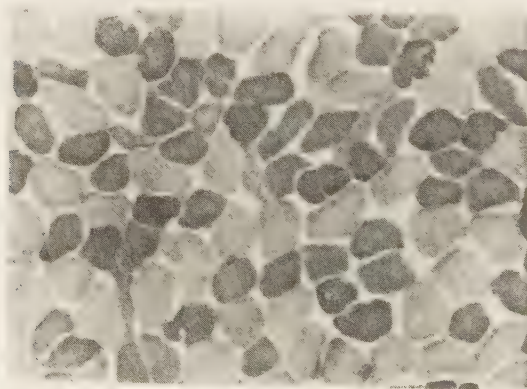


Abb. 2: M.biceps brachii des Probanden S.K., LDH-Färbung.
Die Muskelfasern vom Typ II (hell) sind größer und häufiger
als die vom Typ I (dunkel).

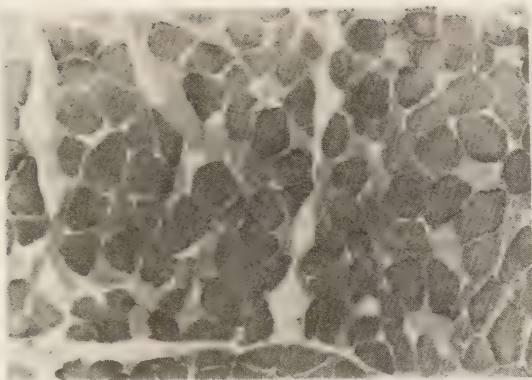


Abb. 3: M. biceps femoris des Probanden E.D., LDH-Färbung.
Die Muskelfasern vom Typ II sind wesentlich kleiner und
seltener anzutreffen als die vom Typ I.

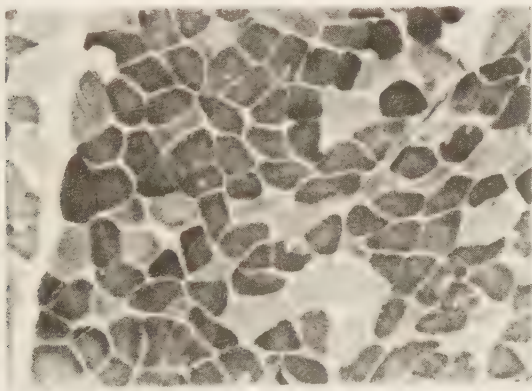


Abb. 4: M. erector spinae des Probanden S.K., LDH-Färbung.
Die Muskelfasern von Typ II sind wesentlich seltener;
Typ I Fasern sind vorherrschend.

L I T E R A T U R

- AHERNE, W., AYYAR, D.R., CLARKE, P.A., WALTON, T.A.: Muscle Fibre Size in Normal Infants, Children and Adolescents. J.neurol. Sci.14,171-182 (1971)
- AHERNE, W.: A method of determining the cross sectional area of muscle fibres. J.neurol. Sci.7, 519-528 (1968)
- BAJUSZ, E.: "Red" Skeletal muscle fibres. Relative Independence of Neural Control. Science 145, 935-938 (1964).
- BROOKE, M.H., ENGEL, W.K.: The histographic analysis of human muscle biopsies with regard to fibre types. 1. Adult male and female. Neurology (Minneapolis) 19, 221-233 (1969).
- BROOKE, M.H., KAISER, K.K.: Muscle fibre types. How many and what kind. Arch.Neurol. Chic. 23, 369-379 (1970).
- BULLARD, H.H.: Histological as related to physiological and chemical differences in certain muscles of the cat. Johns Hopk.Hosp.Rep. 18, 323 - 328 (1919).
- CIACCIO, V.: La découverte des muscles blancs et des muscles rouges, chez le lapin, revendiquée en faveur de S.Lorenzini. Arch.ital.Biol.30, 287 - 288. Zitiert Dubowitz (1965).
- DENNY-BROWN, D.E.: The histochemical features of striped muscle in relation to its functional activity. Proc. roy. Soc.B 104, 371 - 411 (1929).
- DUCHEN, W.K.: Changes in the Electron Microscopic Structure of slow and Fast muscle fibres of the Mouse after the local injection of Botulinum Toxin. J.neurol. Sci.14,61 - 74 (1971).

- DUBOWITZ, V.: Enzyme histochemistry of skeletal muscle.
J. neurol.Neurosurg. Psychiat. 28, 516-524 (1965).
- EDSTRÖM, L. and NYSTRÖM, B.: Histochemical types and
sizes of fibres in normal human muscles. Acta Neurol.
Scandinav. 45, 257 - 269 (1969).
- EDSTRÖM, L. and TORLEGARD, K.: Area estimation of transversely
sektioned muscle Fibres. Zeitschr. wiss.Micr. 69,
166 - 178 (1969).
- ENGEL, W.K.: The essentiality of histo-and cytochemical
Studies of skeletal muscles in the investigation of
neuromuscular disease. Neurology (Minneap.) 12, 778 - 794
(1962).
- ENGEL, W.K.: Histochemistry of neuromuscular disease - significance
of muscle fibre types: in Proceedings of the VIII
International Congress of Neurology, Vienna, Amsterdam:
Excerpta Medica, vol. 2, 67 - 101 (1965) .
- ENGEL, W.K., BROOKE, M.H. and NELSON, P.G.: Histochemical
studies of denervated or tenotomized cat muscle.
Illustrating difficulties in relating experimental animal
conditions to human neuromuscular diseases. Ann.N.Y. Acad.
Sci., 138, 160 - 185 (1966).
- FAHIMI, H.D. and AMARASINGHAM, Ch.R.: Cytochemical Lokalisation
of lactic dehydrogenase in white skeletal muscle. J.Cell
Biol. 22, 29 - 48 (1964).

- GAUTHIER, G.F., PADYKULA, H.A.: Cytological Studies of fibre types in skeletal muscle. A comparative study of the mammalian diaphragm. J.Cell Biol. 28, 333 - 354 (1966).
- GRÜTZNER, P.: Zur Anatomie und Physiologie der quergestreiften Muskeln.Rec.zool. suisse, 1, 665 - 684 (1884).
- GUTMANN, E.: Schnelle und langsame Muskeln. Fast and slow Muscles. Ärztliche Forschung, XXIV Jahrgang.6, 157 - 167 (1970).
- HALBAN, J.: Die Dicke der quergestreiften Muskelfasern und ihre Bedeutung.Anat.Hefte 3, 267 - 307 (1894).
- HENNEMAN, E., OLSON, C.B.: Relations between Structure and function in the design of Skeletal Muscles. J.Neurophysiol. 28, 581 - 598 (1965).
- HEYCK, H., LAUDAHN, G.: Die progressiv-dystrophischen Myopathien. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York (1969).
- HOLLOSZY, J.O.: Biochemical adaptations in muscle: effects of exercise on mitochondrial oxygen uptake and respiratory enzyme activity in skeletal muscle. J. biol. Chem. 242, 2278 - 2282 (1967).
- JENNEKENS, F.G.I., TOMLINSON, B.E. and WALTON, J.N.: Data on the Distribution of Fibre Types in five human limb Muscles. An Autopsy Study. J. neurol. Sci. 14, 245 - 257 (1971).

- JENNEKENS, F.G.I., TOMLINSON, B.E. and WALTON, J.N.: Histochemical aspects of five limb muscles in old age. An autopsy study. J. neurol. Sci., 14, 259 - 276 (1971).
- JENNEKENS, F.G.I., TOMLINSON, B.E. and WALTON, J.N.: The sizes of the two main histochemical fibre types in five limb muscles in man. An autopsy study. J. neurol. Sci. 13, 281 - 292 (1971).
- KARPATI, G. and ENGEL, W.K.: Correlative histochemical study of skeletal muscle after suprasegmental denervation, peripheral nerve section and skeletal fixation. Neurology. 18, 681 - 692 (1968).
- KING ENGEL, W., BETHESDA, M.D.: Selective and non-selective susceptibility of muscle fibre types. Arch. Neurol. 22, 97 - 117 (1970).
- KNOLL, P.: Über protoplasmaarme and protoplasmareiche Muskulatur. Denkschr. Akad. Wiss. 58, 633 - 674 (1891).
- KÖLLIKER, A.: Einige Bemerkungen über die Endigungen der Hautnerven und den Bau der Muskeln. Zeit. Wiss. Zool. Abt. A. 8, 311 - 325 (1856).
- KRÜGER, P.: Über einen möglichen Zusammenhang zwischen Struktur, Funktion und chemischer Beschaffenheit der Muskeln. Biol. Zbl. 49, 616 - 639 (1929).
- KRÜGER, P.: Das morphologische Substrat des Tetanus und Tonus der Skelettmuskulatur. Deutsche Zeitschrift für Nervenheilkunde 173, 404 - 408 (1955).

- MICHAEL, H. BROOKE and ENGEL, W.K.: The histographic ,
analysis of human muscle biopsies with regard to
fibre types. Neurology (Minneap.) 19, 221 - 233 (1969).
- MORRIS, C.J.: Human skeletal muscle fibre type grouping
and collateral re-innervation. J. Neurol. Neurosurg.
Psychiat. 32, 440 - 444 (1969).
- PADYKULA, H.A. and HERMANN, E.: The specificity of the
histochemical method for adenosine triphosphatase.
J. Histochem. Cytochem. 3, 170 - 195 (1955).
- PEARSE, A.G.E.: Histochemistry - theoretical and Applied.
2. Edition (1960) J. and H. Churchill Ltd. London.
- RANVIER, L.: Propriétés et structures différentes des muscles
rouges et des muscles blancs chez les lapins et chez
les raies. C.R. Acad. Sci. (Paris) 77, 1030 - 1034 (1873).
- RENIERS, J., MARTIN, L. and JORIS, C.: Histochemical and
quantitative analysis of muscle biopsies. J. Neurol.
Sci. 10, 349 - 367 (1970).
- REPORT of a Subcommittee on Quantitation of muscle Biopsy
Findings. J. Neurol. Sci. 6, 179 - 188 (1968).
- ROMANUL, F.C.A.: Enzymes in muscle. I Histochemical stu-
dies of enzymes in individual muscle fibres. Arch.
Neurol. (Chic) 11, 355 - 368 (1964).
- SCHAFFER, J.: Beiträge zur Histologie und Histogenese der
quergestreiften Muskelfasern des Menschen und einiger
Wirbeltiere. S.-B kaiserl. Akad. Wiss. Wien, math.-nat.
Kl. 102, Abt. 3, 7 - 148 (1893).

SCHMALBRUCH, H.: Ergebnisse der Anatomie und Entwicklungsgeschichte . Band 41, Heft 1. Die quergestreiften Muskelfasern des Menschen. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York (1970).

SCHWALBE, G., MAYEDA, R.: Über die Kaliberverhältnisse der quergestreiften Muskelfasern des Menschen. Z. Biologie 27, 482 - 512 (1890).

SISSONS, H.A.: Investigations of muscle fibre size. In: Research in Muscular Dystrophy. Proceedings of the 2. Symposium . Research Committee of muscular Dystrophy Group New York. Pitman Publishing Co. 1963 .

SISSONS, H.A.: Further Investigations of muscle fibre size. Research in Muscular Dystrophy. Proceedings of the 3. Symposium. Pitman Medical Publishing Co. 105 -115 (1965).

SUCHENWIRTH, R. und BUNDSCHU, H.D.: Enzym- histologische Befunde an der Skelettmuskulatur des Menschen. I. Methoden und Ergebnisse bei Normalpersonen. Klin. Wschr. 48, 1096 -1101 (1970).

SUSHEELA, A.K.: Structural and enzymatic changes in muscle due to ageing. Nature (Lond.) 204, 296 (1964).

SUSHEELA, A.K. and WALTON, J.N.: Note on the distribution of Histochemical Fibre Types in some normal human muscles. J. neurol.Sci. 8, 201 - 207 (1969).

TOMLINSON, B.E., WALTON, J.N. and RELEIS, J.J.: The effects of ageing and Cachexia upon skeletal muscle. J. neurol. Sci. 9, 321 - 346 (1969).

WACHSTEIN, M. and MEISEL, E.: The distribution of histochemically demonstrable succinic dehydrogenase and of mitochondria in Tongue and skeletal muscles. J. Biophysic. and Biochem. Cytol. 1, 483 - 487 (1955).

Lebenslauf

Am 3.5.1938 wurde ich, Amadu Sulemana, als Sohn des Muruguwura Sulemana und seiner Ehefrau Dina im Bunsunu/Gonja District (Ghana) geboren.

Im Jahre 1946 trat ich in die Damongo Primary School (Volksschule) ein.

1952 - 1953 besuchte ich die Middelboarding School-Damongo, danach die Government Secondary School (Staatliches Gymnasium) in Tamele. Ich bestand hier die West African School Certificate Examination (Abitur) 1958 und die Cambridge Higher School Certificate 1960.

Im September 1961 erhielt ich ein staatliches Stipendium zum Studium der Medizin in Übersee.

Oktober 1961 kam ich nach Deutschland, besuchte deutsche Sprachinstitute (Goetheinstitut) in Degerndorf am Inn und in Bad Reichenhall.

Sommersemester 1962 begann ich an der Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg mit dem Studium der Medizin.

April 1963 bestand ich die naturwissenschaftliche Vorprüfung, im Juli 1965 die ärztliche Vorprüfung und am 3.4.1970 die ärztliche Prüfung mit "gut".

Zur Zeit bin ich als Medizinalassistent im Stadtkrankenhaus Kassel tätig.

Kassel, den 15. November 1971

Amadu Sulemana.

Offsetdruck-Fotodruck

J. Hogl, 8520 Erlangen Hauptstr. 109, (Nähe Martin-Luther-Platz) Tel. 22990
